

Boletim de Pesquisa 42 e Desenvolvimento

ISSN 0101-5516
Julho, 2005

**Avaliação de Modelos pelo Método da
Curva Média para a Construção de
Curvas de Índice de Sítio para *Tectona
grandis* L.f.**



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva

Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues

Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa

Conselho de Administração

Luís Carlos Guedes Pinto

Presidente

Silvio Crestana

Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires

Hélio Tollini

Ernesto Paterniani

Marcelo Barbosa Saintive

Membros

Diretoria-Executiva da Embrapa

Silvio Crestana

Diretor-Presidente

Tatiana Deane de Abreu Sá

José Geraldo Eugênio de França

Kepler Euclides Filho

Diretores-Executivos

Embrapa Acre

Marcus Vinício Neves d'Oliveira

Chefe-Geral

Milcíades Heitor de Abreu Pardo

Chefe-Adjunto de Administração

Luís Cláudio de Oliveira

Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Francisco de Assis Correa Silva

Chefe-Adjunto de Comunicação, Negócios e Apoio

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 42

**Avaliação de Modelos pelo Método da
Curva Média para a Construção de
Curvas de Índice de Sítio para *Tectona
grandis* L.f.**

Evandro Orfanó Figueiredo

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Acre

Rodovia BR 364, km 14, sentido Rio Branco/Porto Velho

Caixa Postal, 321

Rio Branco, AC, CEP 69908-970

Fone: (68) 3212-3200

Fax: (68) 3212-3284

<http://www.cpafac.embrapa.br>

sac@cpafac.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Rivaldalve Coelho Gonçalves*

Secretária-Executiva: *Suely Moreira de Melo*

Membros: *Carlos Mauricio Soares de Andrade, Celso Luís Bergo, Claudenor Pinho de Sá, Cleisa Brasil da Cunha Cartaxo, Henrique José Borges de Araujo, João Alencar de Sousa, Jonny Everson Scherwinski Pereira, José Tadeu de Souza Marinho, Lúcia Helena de Oliveira Wadt, Luís Cláudio de Oliveira, Marcílio José Thomazini, Patrícia Maria Drumond*

Revisores deste trabalho: *Marcus Vinicio N. d'Oliveira (ad hoc), Carlos Mauricio S. de Andrade*

Supervisão editorial: *Claudia Carvalho Sena / Suely Moreira de Melo*

Revisão de texto: *Claudia Carvalho Sena / Suely Moreira de Melo*

Normalização bibliográfica: *Luiza de Marillac Pompeu Braga Gonçalves*

Tratamento de ilustrações: *Fernando Farias Sevá / Iuri Rudá Franca Gomes*

Foto da capa: *Evandro Orfanó Figueiredo*

Editoração eletrônica: *Fernando Farias Sevá / Iuri Rudá Franca Gomes*

1ª edição

1ª impressão (2005): 300 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

Embrapa Acre.

F475a Figueiredo, Evandro Orfanó

Avaliação de modelos pelo método da curva média para a construção de curvas de índice de sítio para *Tectona grandis* L.f. / Evandro Orfanó Figueiredo. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005.

49 p. il. Color. (Embrapa Acre. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 42).

1. Teca. 2. *Tectona grandis*. 3. Estatística. I. Título. II. Série.

CDD (19.ed.) 634.97

© Embrapa 2005

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	22
Conclusões	47
Referências	48

Avaliação de Modelos pelo Método da Curva Média para a Construção de Curvas de Índice de Sítio para *Tectona grandis* L.f.

Evandro Orfanó Figueiredo¹

Resumo

Este estudo objetivou, por meio da curva média, avaliar o desempenho de modelos na classificação de sítio mais estável para as árvores dominantes de três povoamentos de *Tectona grandis* L.f., com idade entre 6 e 10 anos, na microrregião do Baixo Rio Acre, no Estado do Acre. Foram testados 15 modelos lineares e não-lineares, e avaliada a performance dos modelos pelas estatísticas: coeficiente de determinação (R^2), média dos resíduos, erro padrão residual, erro percentual, gráfico de distribuição dos resíduos e estabilidade total de classificação das parcelas. A estabilidade da equação foi medida por meio do desvio padrão das classificações de sítio, nas diversas idades, para cada parcela. Todos os modelos testados apresentaram boas estatísticas de precisão, porém, a distribuição dos resíduos foi superestimada para as árvores com idades abaixo de 4 anos, provavelmente, decorrente da grande variação de valores da altura dominante nessas idades. Quando se consideraram na análise os dados das idades mais jovens, foram necessárias até seis curvas de índice de sítio para contemplar todas as parcelas, e não existiu representação de alturas dominantes em todas as curvas nas idades estudadas, gerando grande instabilidade de classificação. Ao considerar a estabilidade total de classificação das

¹Eng. agrôn., M.Sc., Embrapa Acre, Caixa Postal 321, 69908-970, Rio Branco, AC, orfano@cpafac.embrapa.br

dominantes a partir do quarto ano, os modelos Bailey & Clutter e Schumacher & Hall linearizados apresentaram os melhores resultados, com estabilidade total em 56,7% das parcelas consideradas.

Termos para indexação: curva média, curvas anamórficas, altura dominante, sítio florestal, teca.

Evaluation of Models by the Medium Curve for the Construction of Site Index Curves for *Tectona grandis* L.f.

Abstract

This study aimed at the selection of the method and model which presented the most stable site classification for the dominant trees of three stands of Tectona grandis L.f. in the Baixo Rio Acre micro region in Acre state, aged between 6 to 10 years. Fifteen linear and no-linear models were tested, and by the average curve or guide curve method, evaluated the performance of the models by the statistics: coefficient of determination (R^2), average of the residues, standard error, percentile error, graph of distribution of the residues and, total stability of plots classification. The equation stability was measured by the standard deviation of the sites classifications, in the several ages, for each plot. All the tested models presented good precision statistics, however, the residue distribution was overestimated for the ages below four years, probably, due to the great variation for values of dominant tree height in those ages. When only the data of the youngest trees was considered on the analyses until six site index curves were necessary to contemplate all the plots, and there was no representation for dominant heights in all curves, generating, great classification instability. When considering the total stability of classification of the dominant trees, starting from the fourth year, the models Bailey & Clutter and Schumacher & Hall linear presented the best results, with total stability of 56,7% of the considered plots.

Index terms: average curve, anamorphic curves, dominant height, site, teak.

Introdução

O sítio florestal, segundo o enfoque ecológico, é definido como uma unidade geográfica uniforme, caracterizada por uma certa combinação estável dos fatores do meio. Já sob o enfoque de manejo florestal, é conceituado como um fator de produção primário capaz de produzir madeira ou produtos florestais (Scolforo, 1997). Apesar de diferentes, estas duas definições não são conflitantes e devem ser entendidas de forma complementar.

Um dos principais instrumentos para a administração das florestas de produção plantadas é o conhecimento quantitativo do potencial do sítio para uma espécie. A produtividade dos sítios influencia o crescimento em diâmetro, em altura, em biomassa e diâmetro de copa. Conseqüentemente, o sítio florestal é determinante na estratégia do manejo a ser adotado para o povoamento, influenciando no planejamento dos tratamentos silviculturais, como: podas, desbastes, definição da rotação técnica e econômica, práticas de fertilização e correção do solo, estimativas, diagnósticos e prognoses de produção, entre outros.

Na literatura são encontradas algumas alternativas para a classificação da produtividade local. Os métodos diretos avaliam a qualidade do sítio a partir de atributos do ambiente, levando em consideração características, como clima, solo e vegetação (Scolforo, 1997). Os métodos indiretos utilizam-se basicamente de indicadores na própria vegetação, que refletem as interações de todos estes fatores de sítio (Clutter, 1983).

Nos métodos diretos, os atributos ou fatores do ambiente podem ser classificados como fatores primários, os quais são independentes do ecossistema, tais como: macroclima, topografia e rocha de origem; e como atributos secundários, desenvolvidos e influenciados por componentes do

ecossistema, tais como: microclima, solo florestal, matéria orgânica e lençol freático (Scolforo, 1997).

Dentre os métodos indiretos, o de índice de sítio (baseado na altura média das árvores dominantes na idade de referência) é o mais utilizado para definir o potencial dos sítios florestais; e o conceito de índice continuará a ser adotado até que métodos que conjuguem a soma de fatores ambientais possam ser traduzidos de forma numérica e acessível aos usuários do setor florestal (Figueiredo, 2005).

Apesar de sua importância para o planejamento florestal, a classificação de sítio ainda é uma ferramenta negligenciada na administração florestal pelas empresas e produtores autônomos de madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.) em todas as regiões produtoras do mundo (Keogh, 1982, 1990; Nair & Souvannavong, 2000).

O presente estudo teve como objetivo avaliar a performance de 15 modelos (lineares e não-lineares) pelo método da curva média, por meio da estabilidade de classificação de sítio para as árvores dominantes das unidades amostrais de três povoamentos de teca.

Material e Métodos

Caracterização das Áreas e dos Plantios Estudados

Local

Os estudos foram realizados em três povoamentos de teca plantados nas propriedades rurais Sempre Verde, São Francisco I e São Francisco II, nos Municípios de Rio Branco e Acrelândia, situados na microrregião do Baixo Rio Acre, no Estado do Acre (Fig. 1).

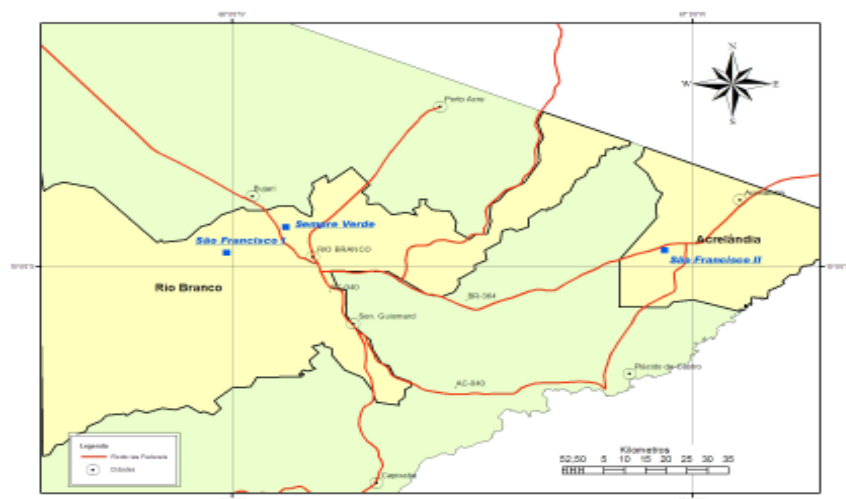


Fig. 1. Mapa de localização das áreas de estudo (Sempre Verde, São Francisco I e São Francisco II) com plantios de teca, nos Municípios de Rio Branco e Acrelândia, Acre, Brasil.

O imóvel Sempre Verde é de propriedade da Madeireira Floresta Ltda. e está localizado no Município de Rio Branco, à margem esquerda da rodovia federal BR 364, km 8, sentido Rio Branco–Sena Madureira, com as seguintes coordenadas geográficas: 09°53'37,9"S e 67°53'40,8"W.

A colônia São Francisco I pertence à empresa Madeireira Chalana Ltda. e está localizada em Rio Branco, na margem direita da rodovia estadual AC-40 (também conhecida por Transacreana), km 18. O povoamento de teca da colônia São Francisco I está situado nas seguintes coordenadas geográficas: 10°01'26,7"S e 67°57'27,9"W.

Localizada nas proximidades da BR 364, sentido Rio Branco–Porto Velho, com acesso secundário pelo ramal Bengala, a colônia São Francisco II é a terceira propriedade estudada com povoamentos de teca. Pertencente à Madeireira Chalana Ltda., o imóvel está situado no Município de Acrelândia (extremo leste do Estado do Acre), nas coordenadas geográficas 09°59'45,6"S e 67°06'02,1"W.

Clima

Considerando a classificação bioclimática, o clima prevalecente nas áreas de estudo caracteriza-se por xeroquimência subtermáxica severa, com 1 a 3 meses de período seco, temperatura média do mês mais frio superior a 15°C, existindo de 21 a 40 dias biologicamente secos. Nos meses mais frios, é freqüente a ocorrência de ondas de frio, com duração de 3 a 8 dias, fenômeno conhecido regionalmente como friagem (IMAC, 1991).

O período chuvoso inicia-se normalmente em outubro, prolongando-se até maio. A precipitação do trimestre mais chuvoso (janeiro, fevereiro e março) gira em torno de 800 a 850 mm e do trimestre mais seco (junho, julho e agosto) entre 100 e 150 mm e precipitação anual de 1.800 a 2.000 mm (IMAC, 1991).

A temperatura climática média anual é de 24°C a 26°C e a umidade relativa do ar é bastante elevada, variando de 85% a 90% (IMAC, 1991).

Solos

As classes de solos predominantes na microrregião do Baixo Rio Acre são os Argissolos Eutróficos e Distróficos e os Latossolos. Os Argissolos apresentam como característica marcante o horizonte B textural e a baixa atividade de argila. Os Argissolos Eutróficos são solos pouco intemperizados e, quando não se encontram em áreas íngremes, apresentam grande potencial agrícola. Os Argissolos Distróficos caracterizam-se como bastante lixiviados e quimicamente pobres, mas apresentam propriedades físicas favoráveis à agricultura (Acre, 2000).

Os Latossolos também se fazem presentes, principalmente em Acrelândia, distribuídos em pequenas manchas de solos. São altamente intemperizados, com características físicas favoráveis à agricultura, porém, com pouca reserva de nutrientes (Acre, 2000). Suas principais características são a

coloração, relacionada à forma de ferro (hematita ou goethita), o teor de Fe_2O_3 do ataque sulfúrico associado ao material de origem e as características morfológicas como pouca diferenciação entre horizontes, profundidade e estrutura. Os solos dos povoamentos estudados são classificados em Argissolos Eutróficos.

Caracterização dos Povoamentos

Os três povoamentos de teca selecionados para estudo apresentavam as seguintes características:

A área 1, localizada na colônia Sempre Verde, constitui um povoamento de teca com 10 anos, sendo a densidade inicial do povoamento de $2.083 \text{ árvores.ha}^{-1}$ (espaçamento de $2 \times 2,4 \text{ m}$) (Fig. 2). Originalmente o referido talhão consistia numa pastagem de *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria humidicola* que desapareceu 3 anos após a implantação da floresta.

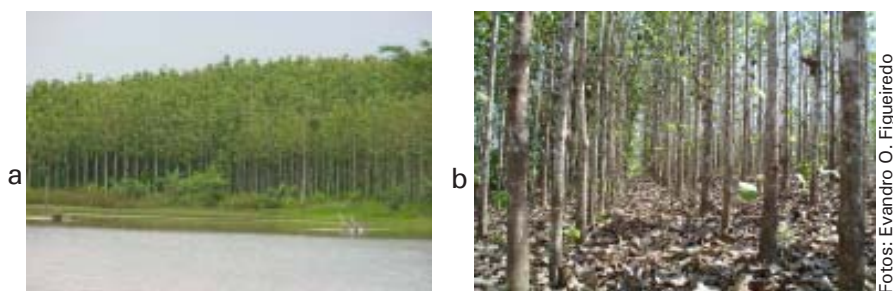


Fig. 2. Área 1 – povoamento de teca variedade *Tennasserim*, com densidade de $2.083 \text{ árvores.ha}^{-1}$ e idade de 10 anos: a) vista panorâmica; b) interior do povoamento. Colônia Sempre Verde, Rio Branco, Acre, 2004.

A área 2, localizada no imóvel São Francisco I (com idade de 7 anos), apresenta densidade inicial de $1.111 \text{ árvores.ha}^{-1}$ de teca e $556 \text{ árvores.ha}^{-1}$ de mogno (*Swietenia macrophylla* King). Dois anos após o plantio, a população de mogno foi reduzida a poucas árvores, em decorrência do forte ataque de

broca (*Hypsipyla grandella*) e da intensa competição imposta pela teca. Atualmente, pode-se considerar a área como um povoamento puro de teca (Fig. 3), plantada em filas duplas de 3 x 2 m e com 4 m entre fileiras duplas. A área, antes da implantação do povoamento, era ocupada por gramíneas da espécie *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, que também foram suprimidas devido ao sombreamento.



Foto: Evandro O. Figueiredo

Fig. 3. Área 2 – povoamento de teca com densidade de 1.111 árvores.ha⁻¹ e idade de 7 anos. Colônia São Francisco I, Rio Branco, Acre, 2004.

O povoamento de teca da área 3, localizada na colônia São Francisco II, Município de Acrelândia, apresenta idade de 6 anos e foi instalado no espaçamento de 2 x 3 m, perfazendo uma densidade inicial de 1.667 árvores.ha⁻¹. Este povoamento também foi estabelecido sobre uma pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu.

O material genético dos três povoamentos é da variedade *Tennasserim*, de procedência da Birmânia (Myanmar) para Trinidad.

Para caracterização do povoamento foi executado um inventário florestal, com amostragem aleatória, com intensidade amostral mínima de 10% e erro do inventário máximo de 12% a 95% de probabilidade (Tabela 1).

Tabela 1. Características dos povoamentos de teca (*Tectona grandis* L.f.) estudados.

Características	Área 1		Área 2		Área 3	
	Sempre Verde		São Francisco I		São Francisco II	
Denominação	Rio Branco		Rio Branco		Acrelândia	
Localização	Argissolos		Argissolos		Argissolos	
Solos	1,4835		2,3913		2,4528	
Área (ha)	202,96		192,96		207,77	
Altitude (m)	9,52		7,40		6,45	
Idade (ano)	12,66		11,92		10,68	
DAP médio (cm)	12,63		12,17		9,17	
Altura média (m)	2,015		1,065		1,412	
Nº de árvores inventariadas/ha	27,02		12,13		13,48	
Área basal méd. (m ² ha ⁻¹)	16,76		14,80		12,10	
Altura dominante (m)	6,89		8,25		6,69	
Dmin (cm)	19,68		15,59		16,05	
Dmax (cm)						

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Estatísticas do inventário para volume			
Características	Área 1	Área 2	Área 3
Tamanho da parcela (m ²)	400	400	400
Nº de parcelas cabíveis (N)	37	60	61
Percentual da área amostrada	27,07%	16,73%	16,31%
Erro do inventário aceitável	12%	12%	12%
Número de parcelas instaladas	10	10	10
Média volumétrica/parcela (m ³)	7,175	3,613	3,685
Variância volumétrica (m ⁶)	1,287	0,185	0,265
Desvio padrão volumétrico (m ³)	1,135	0,430	0,515
Fração de amostragem	0,729	0,833	0,837
Variância da média (m ⁶)	0,094	0,015	0,022
Erro padrão da média (m ³)	0,306	0,124	0,149
Coefficiente de variação	15,81%	11,91%	13,98%
Volume/hectare (m ³)	179,366	90,336	92,117
Int. de confiança/parcela (m ³)	6,481 $\geq \mu \leq 7,868$	3,208 $\geq \mu \leq 4,018$	3,347 $\geq \mu \leq 4,021$
Int. de confiança/hectare (m ³)	162,0 $\geq \mu \leq 196,7$	80,2 $\geq \mu \leq 100,4$	83,7 $\geq \mu \leq 100,5$
Intensidade amostral necessária	7,16	8,91	6,24
Erro do inventário			
Absoluto (volume/parcela) (m ³)	0,693	0,405	0,337
Relativo	9,66%	11,21%	9,15%

Base de Dados

Por não haver monitoria do desenvolvimento dos plantios, houve a necessidade da realização de estudos cronodendrométricos, com emprego da análise de tronco completa (ANATRO).

Em cada uma das 10 unidades amostrais dos povoamentos 1, 2 e 3 foi instalada uma subparcela circular de 100 m², na qual foi selecionada a árvore dominante, seguindo o conceito de Assmann (1970), ou seja, as 100 árvores com maior diâmetro por hectare. Assim, foram utilizadas 30 árvores, formando 250 pares de dados altura-idade.

Foram retirados discos de 5 cm de espessura nas seguintes alturas: 0,00 m, 0,50 m, 1,00 m, 1,30 m, 2,00 m e, posteriormente, a cada metro até a ponta do fuste. Conforme sugerido por Figueiredo (2001), os discos foram secos em estufa e, posteriormente, lixados com lixa fina, visando destacar as camadas de crescimento do lenho.

Os discos foram marcados com grafite na extensão dos diâmetros a serem mensurados. A metodologia utilizada para a medição dos anéis, proposta por Figueiredo (2005), consistiu em identificar o maior diâmetro do disco e, então, no sentido anti-horário, marcar 45°. Neste ponto, faz-se uma cruz de forma ortogonal e procede-se à medição da espessura e contagem dos anéis de crescimento para obter, respectivamente, o incremento em diâmetro e a idade em que este ocorreu. No caso em que os discos apresentaram forma muito diferente da circular, ou defeitos que não permitiram a aplicação da metodologia, traçaram-se raios em locais em que era possível a medição.

Posteriormente à marcação das posições de medidas, os discos foram digitalizados por sensor de varredura de linha (scanner de mesa), produzindo uma imagem bidimensional, conforme descrito por Gonzalez & Woods (2000). A resolução

de imagem foi de 300 dpi (*dots per inch*) e os arquivos gravados no formato TIFF (*Tagged Image File Format*).

As imagens digitais foram tratadas e mensuradas pelo software ENVI 4.0 (*Environment for Visualizing Images*), compostas pela combinação colorida RGB (*red-green-blue*), sendo posteriormente aplicado um contraste linear 2%, visando melhorar a qualidade. O passo seguinte foi a mensuração do número de *pixels* entre anéis, sendo cada 300 *pixels* correspondente a uma polegada.

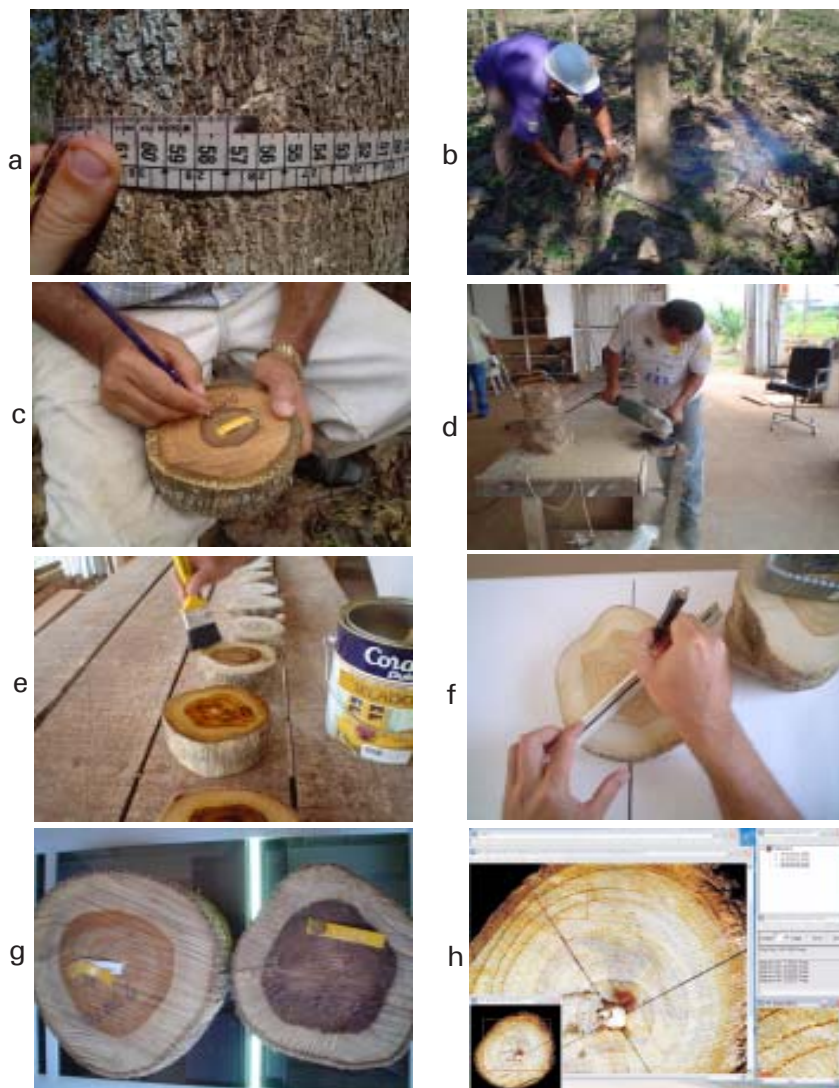
Visando ao controle do processo de análise de imagens dos discos, adotou-se o procedimento em que a cada árvore analisada foram sorteados dois discos para a mensuração dos anéis utilizando o paquímetro. Todas as etapas do processo de obtenção, preparo, digitalização dos discos, bem como a mensuração dos anéis de crescimento, encontram-se na Fig. 4.

Classificação de Sítio Florestal

Método da Curva Guia ou Média

Neste trabalho foram testados pelo método da curva média os 15 modelos mais freqüentemente utilizados, os quais se encontram na Tabela 2.

Este procedimento consistiu em ajustar os modelos de regressão, empregando uma base de dados com os pares de altura média das árvores dominantes e idade, obtidos neste estudo por meio da análise de tronco de 30 árvores. A equação resultante do ajuste do modelo representa a curva média do índice de sítio ou curva guia.



Fotos: Evandro O. Figueiredo

Fig. 4. a) Identificação das árvores dominantes; b) abate das árvores; c) codificação dos discos; d) lixamento dos discos; e) aplicação de resina; f) marcação das linhas referenciais de mensuração dos anéis de crescimento; g) digitalização dos discos; h) processamento das imagens e mensuração dos discos de teca.

Tabela 2. Modelos testados pelo método da curva média para expressar a capacidade produtiva dos diferentes locais, em função da idade.

Identificação	Modelos	Autoria
Modelo 1	$\beta \ln(H_{dom}) = \alpha + \beta_1 \ln(l) + \varepsilon_i$	Schumacher "log-log"
Modelo 2	$\ln(H_{dom}) = \beta_0 + \beta_1 (1/l) + \varepsilon_i$	Schumacher linearizado
Modelo 3	$\ln(H_{dom}) = \beta_0 + \beta_1 (1/l^2) + \varepsilon_i$	Schumacher (com β_2)
Modelo 4	$H_{dom} = \beta_0 + \beta_1 l + \beta_2 (l)^2 + \varepsilon_i$	-
Modelo 5	$H_{dom} = \beta_0 + \beta_1 l + \beta_2 (l)^3 + \varepsilon_i$	-
Modelo 6	$H_{dom} = \beta_0 + \beta_1 l^{0.5} + \beta_2 l + \varepsilon_i$	-
Modelo 7	$H_{dom} = \beta_0 + \beta_1 l + \beta_2 (l)^2 + \beta_3 l^{0.5} + \varepsilon_i$	-
Modelo 8	$H_{dom} = \beta_0 + \beta_1 l + \beta_2 (1/l) + \varepsilon_i$	-
Modelo 9	$\ln(H_{dom}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(l) + \beta_2 [\ln(l)]^2 + \varepsilon_i$	-
Modelo 10	$\ln(H_{dom}) = \beta_0 + \beta_1 (1/l) + \beta_2 (1/l)^2 + \varepsilon_i$	-
Modelo 11	$\ln(H_{dom}) = \beta_0 + \beta_1 (1/l) + \beta_2 (1/l)^2 + \beta_3 (1/l)^3 + \varepsilon_i$	-
Modelo 12	$H_{dom} = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 l)] + \varepsilon_i$	Spillman
Modelo 13	$H_{dom} = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 l)]^{(1/(1-\beta_2))} + \varepsilon_i$	Chapman & Richard
Modelo 14	$\ln(H_{dom}) = \beta_0 + \beta_1 [(1/l)^{\beta_2}] + \varepsilon_i$	Bailey & Clutter
Modelo 15	$H_{dom} = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 l^{\beta_2})]^{\beta_3} + \varepsilon_i$	-

Onde: H_{dom} = altura dominante (altura média das 100 árvores de maior diâmetro por hectare); l = idade (em anos); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = parâmetros a serem estimados; \ln = logaritmo neperiano; $\hat{\alpha}_i$ = erro de estimativa.

Avaliação da Performance dos Modelos de Classificação de Sítio

A avaliação da performance dos modelos de classificação de sítio baseou-se na estatística dos modelos testados, medidos pelos seguintes critérios: coeficiente de determinação (R^2), média dos resíduos, erro padrão residual e erro percentual, gráfico de distribuição dos resíduos e, principalmente, estabilidade total de classificação.

A estabilidade de classificação é prioritária na análise, pois fornece uma informação prática no procedimento de definição do índice de sítio, visto que modelos que geram oscilação dos valores de índice não permitem ao manejador a tomada de decisão na definição do sítio estudado. Com isso, as demais estatísticas fornecem valores de precisão, subsidiando a escolha do modelo mais estável.

O procedimento para a avaliação da estabilidade total consiste em interpretar a constância da classificação dos sítios para os modelos testados. Assim, a estabilidade total pode ser definida como a capacidade do modelo ajustado de manter uma parcela classificada numa mesma classe de sítio do primeiro ao último ano observado.

A estabilidade total da equação foi medida por meio do desvio padrão das classificações de sítio nas diversas idades para cada parcela. Desse modo, a equação mais estável foi aquela que apresentou um maior número de parcelas com desvio padrão das classificações igual a zero (estabilidade total). Portanto, quanto maior o número de parcelas com estabilidade total, melhor a equação de classificação de sítio.

Resultados e Discussão

Análise de Tronco Completa

A análise de tronco completa possibilitou resgatar uma série histórica de acompanhamento das alturas dominantes, em que cada árvore da área 1 permitiu o resgate de 10 pares de dados de altura-idade. Cada árvore gerou 8 pares de dados na área 2 e 7 pares na área 3.

Ao todo, foram obtidos 100 pares de dados para a área 1, 80 para a área 2 e 70 para a 3, perfazendo um total de 250 pares de dados. No entanto, somente foram empregados 220 pares de dados para a classificação de sítio, pois os dados do primeiro ano não foram utilizados.

Na Fig. 5 observa-se um exemplo da reconstituição do perfil da árvore dominante, para uma parcela de cada área de estudo.

O emprego de processo de digitalização dos discos de madeira permitiu significativos ganhos na rapidez do procedimento da ANATRO e facilidade na identificação de falsos anéis de crescimento, pois a possibilidade de ampliação da imagem digital e a oscilação de contrastes permitiram identificar os verdadeiros anéis de crescimento. Outro aspecto é que a medida de espessura de cada anel de crescimento foi feita pela contagem eletrônica do número de *pixels*. Como as imagens foram digitalizadas numa resolução de 300 dpi, cada *pixel* representou 0,008467 cm, ou seja, possibilitou medidas bem mais rebuscadas dos anéis de crescimento.

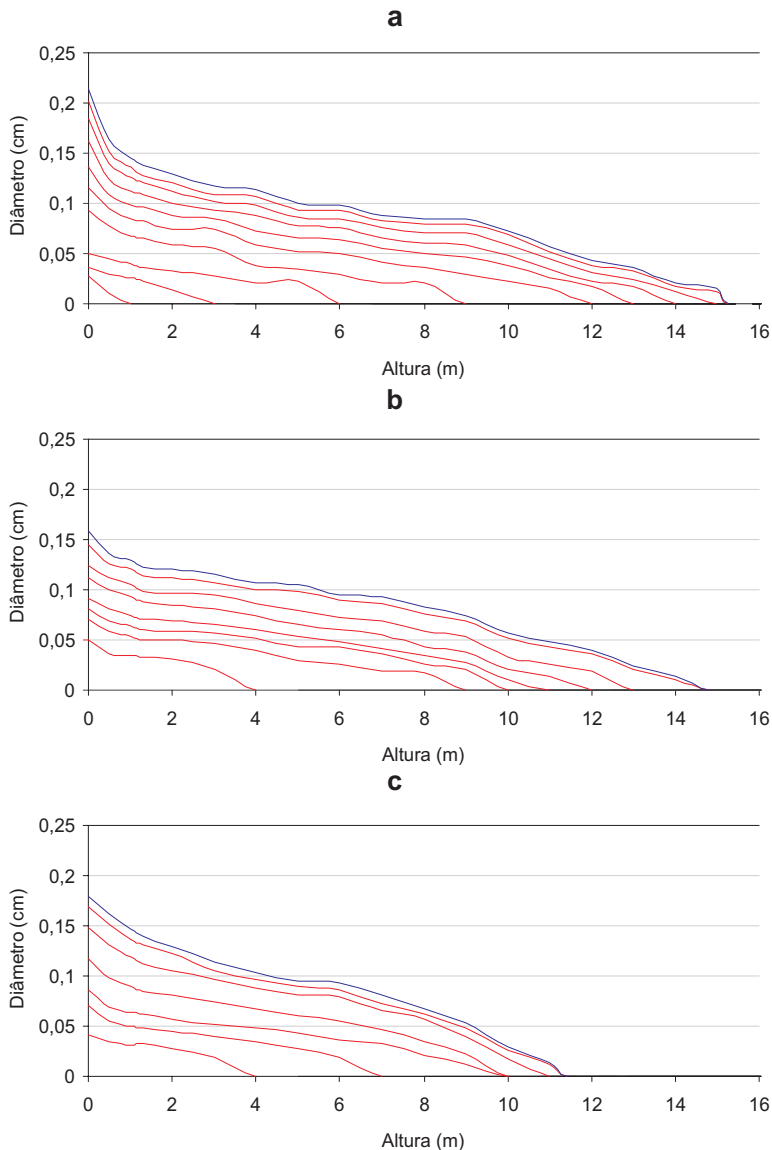


Fig. 5. Perfis das árvores dominantes, sendo: a) árvore dominante da unidade amostral 9 da área 1; b) árvore dominante da unidade amostral 6 da área 2; c) árvore dominante da unidade amostral 2 da área 3.

Classificação de Sítio pelo Método da Curva Guia ou Média

Os resultados estatísticos obtidos pela utilização do método da curva média para classificação de sítio demonstraram que os 15 modelos testados apresentaram bons ajustes. A melhor estatística foi para o modelo 8, em que: erro padrão residual (S_{yx}) de $\pm 1,49$ metro, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajustado}) de 77,71% e uma distribuição de resíduos percentuais, ora subestimados, ora superestimados.

No entanto, a distribuição dos resíduos percentuais revela que o conjunto de modelos testados pelo método da curva média demonstrou grande dificuldade de ajuste para as árvores com idade inferior a 4 anos. A grande diferença de crescimento inicial em altura e diâmetro, característica dos povoamentos de teca advindos de sementes, faz com que o método não consiga retratar tal desuniformidade, visto que gera somente curvas anamórficas.

Os resíduos percentuais para todos os modelos apresentam significativa superestimativa para as menores alturas dominantes (povoamentos mais jovens), chegando a aumentar os valores estimados em mais de 160%. Já para as maiores alturas dominantes (povoamentos com idade mais elevada), os modelos acabaram subestimando as alturas em valores variando entre 30% e 46% (Fig. 6 e 7).

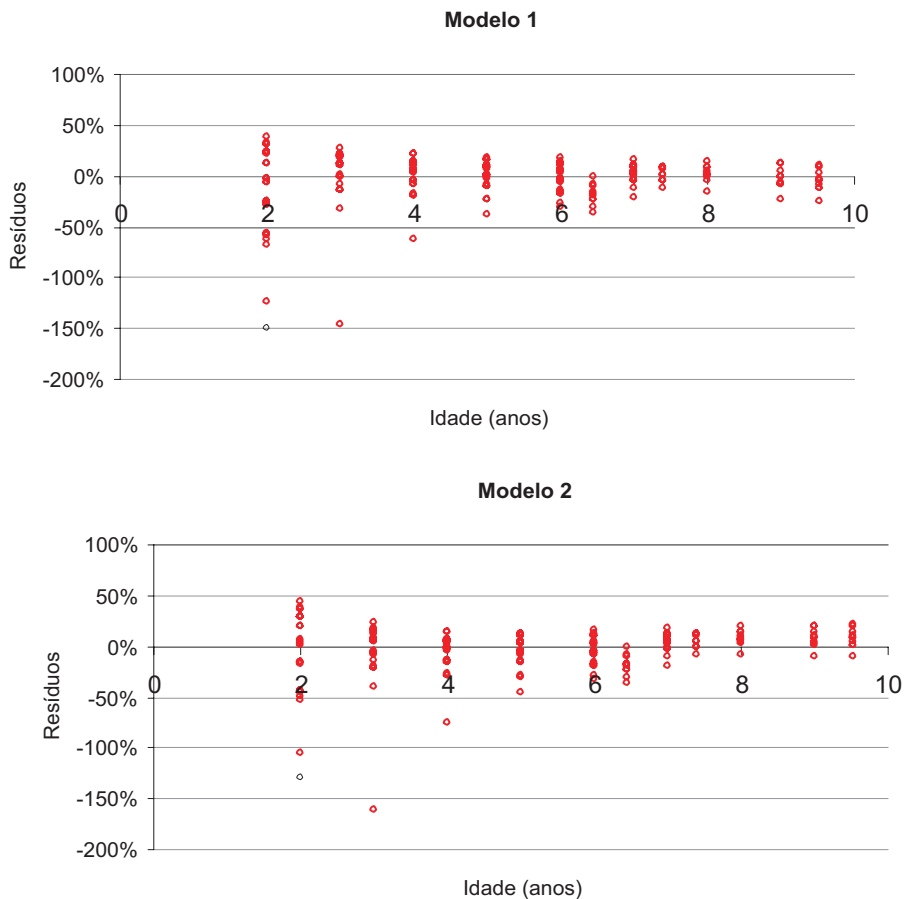


Fig. 6. Resíduo percentual, em função da idade (anos), para os dez primeiros modelos testados pelo método da curva média.

Continua...

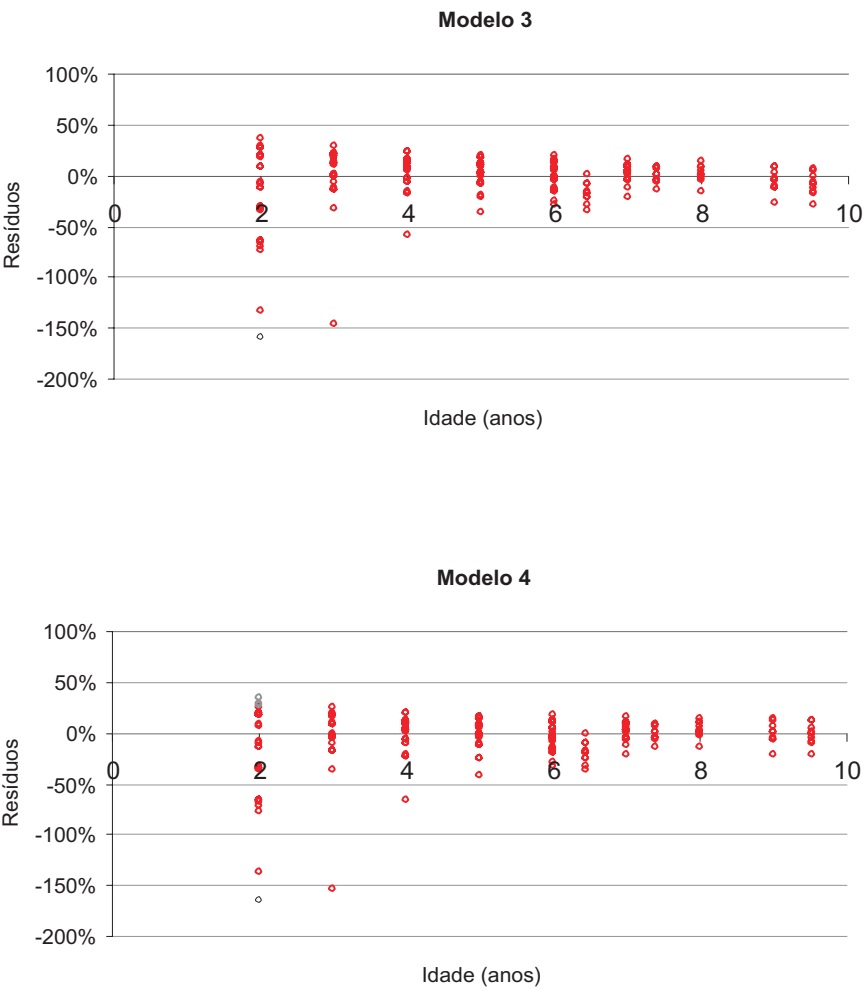


Fig. 6. Resíduo percentual, em função da idade (anos), para os dez primeiros modelos testados pelo método da curva média.

Continua...

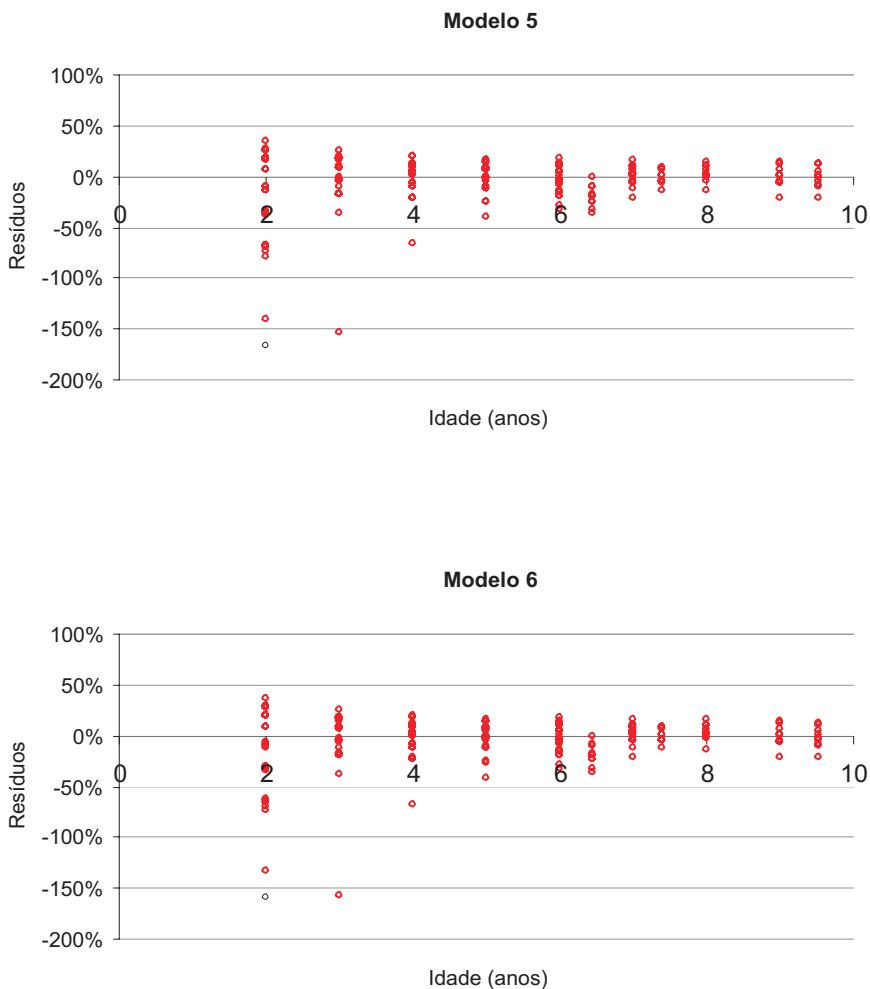


Fig. 6. Resíduo percentual, em função da idade (anos), para os dez primeiros modelos testados pelo método da curva média.

Continua...

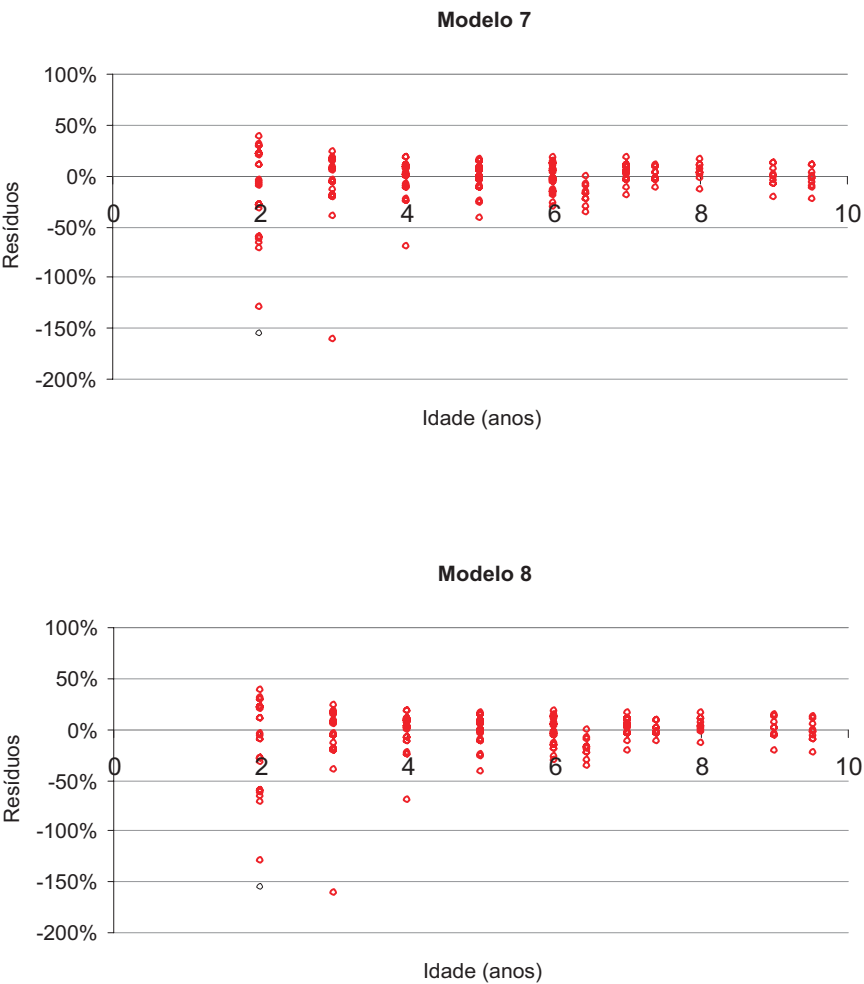


Fig. 6. Resíduo percentual, em função da idade (anos), para os dez primeiros modelos testados pelo método da curva média.

Continua...

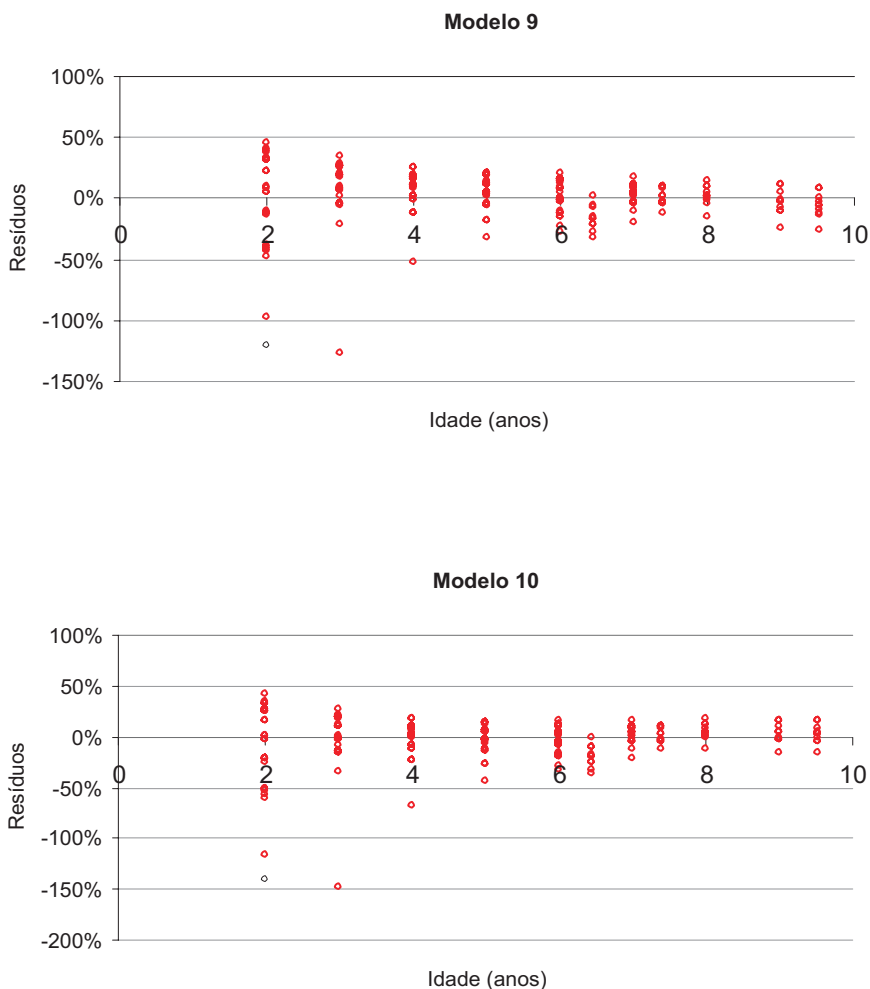


Fig. 6. Resíduo percentual, em função da idade (anos), para os dez primeiros modelos testados pelo método da curva média.

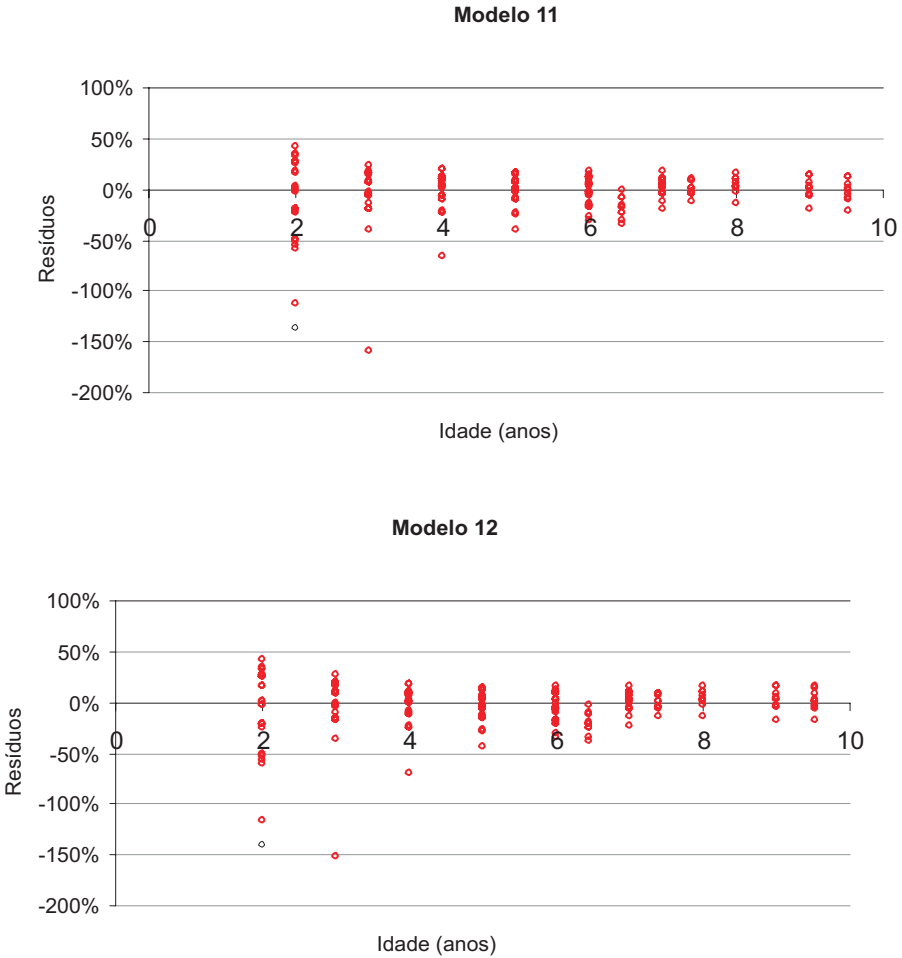


Fig. 7. Resíduo percentual, em função da idade (anos), para os modelos de 11 a 15, testados pelo método da curva média.

Continua...

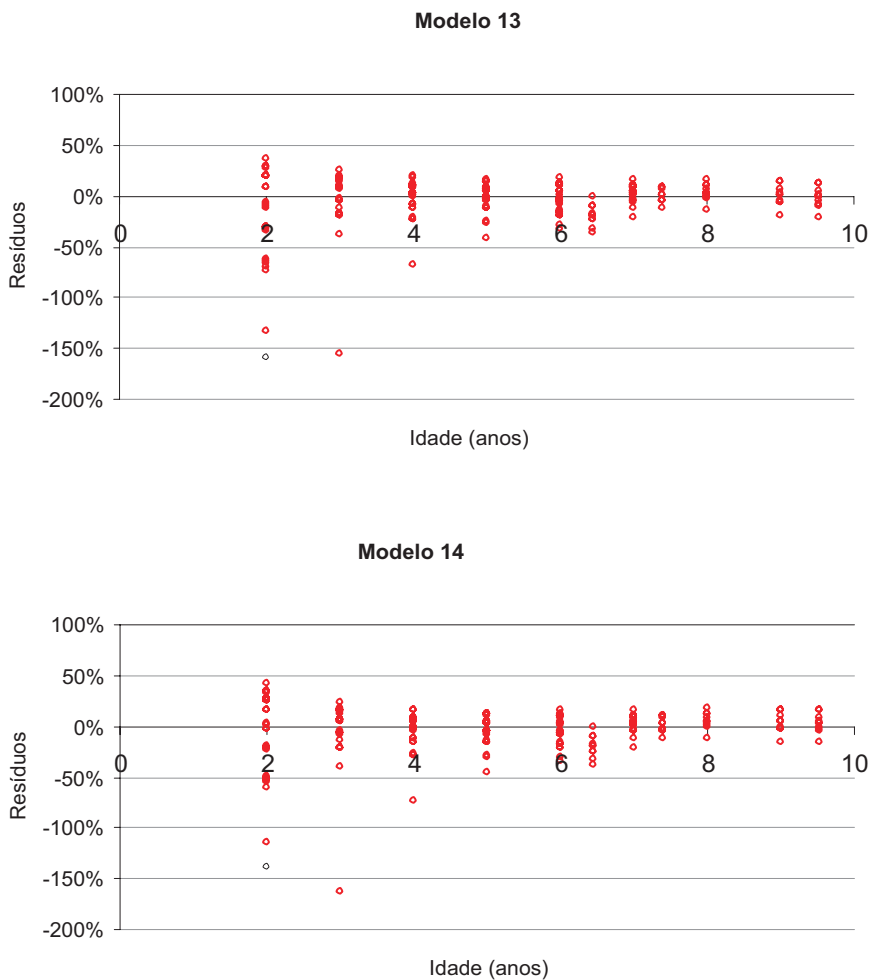


Fig. 7. Resíduo percentual, em função da idade (anos), para os modelos de 11 a 15, testados pelo método da curva média.

Continua...

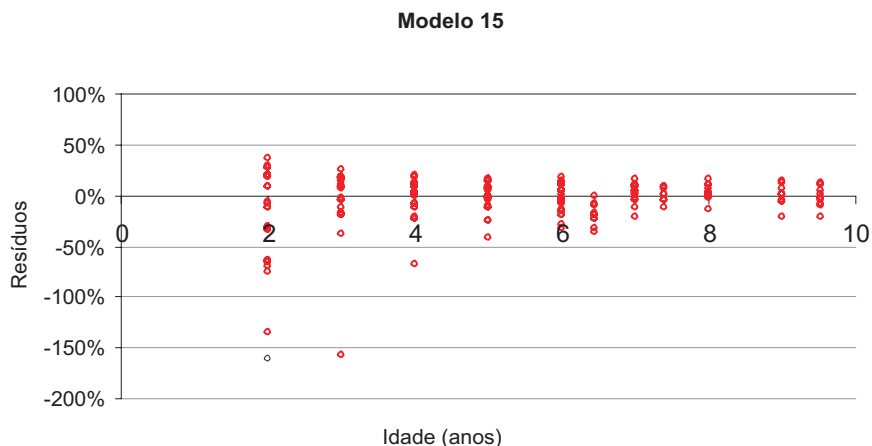


Fig. 7. Resíduo percentual, em função da idade (anos), para os modelos de 11 a 15, testados pelo método da curva média.

Esta baixa performance dos modelos pelo método da curva média demonstra a dificuldade técnica de adotar este procedimento quando se classifica povoamento jovem, devido aos problemas de ajustamento das curvas de índice de sítio. Isso porque o estabelecimento do intervalo de classe de 3 metros, conforme já adotado por Malende & Temu (1990) e por Keogh (1990), não permitiu contemplar a inclusão de todas as estimativas de alturas dominantes numa classe de sítio para as menores idades, mesmo empregando seis classes de sítio.

Para minimizar a dificuldade de representar povoamentos mais jovens, é possível a ampliação do intervalo entre classes de sítios de 3 para 4 ou 5 metros. Este procedimento foi adotado por Nunifu & Murchison (1999), ao utilizarem o método da curva média para classificação de sítios em plantações de teca em Ghana.

A ampliação do intervalo de classe é uma solução, quando se pretende que o polimorfismo seja exercitado no intervalo entre curvas. No entanto, 4 ou 5 metros de intervalo de classe

é pouco realístico para uma espécie que não apresenta crescimento rápido em altura nos primeiros anos. Dessa forma, a adoção de intervalos maiores apenas acaba dificultando o entendimento do comportamento da espécie e, conseqüentemente, as práticas de manejo.

Pode-se observar, nas Fig. 8, 9 e 10 que, mesmo com o emprego de seis classes de sítio, não foi possível a inclusão de estimativas de árvores dominantes nos povoamentos mais jovens, exceto para os modelos 4, 5 e 13.

Esta dificuldade de inserção das alturas dominantes observadas nos povoamentos jovens diminui significativamente a partir do quarto ano.

Nanang & Nunifu (1999), utilizando o método da curva média, obtiveram bons resultados com os modelos de Chapman & Richard e Spillman para determinação do índice de sítio local em plantio de teca na África. Este estudo também apresentou bons resultados para o modelo Chapman & Richard (modelo 13) possibilitando a inclusão de todas as alturas dominantes observadas (em todas as idades) numa determinada classe de sítio, porém não foi o modelo mais estável.

Keogh (1990) afirma que, na classificação de sítios dos plantios de teca, por meio do método da curva média, têm-se preferido os modelos de Schumacher linearizado (modelo 2) e Schumacher "log-log" (modelo 1), devido basicamente à facilidade do procedimento operacional de ajuste. No entanto, a facilidade de ajuste não deve ser o critério para seleção de modelos, visto que este procedimento nem sempre leva a bons resultados.

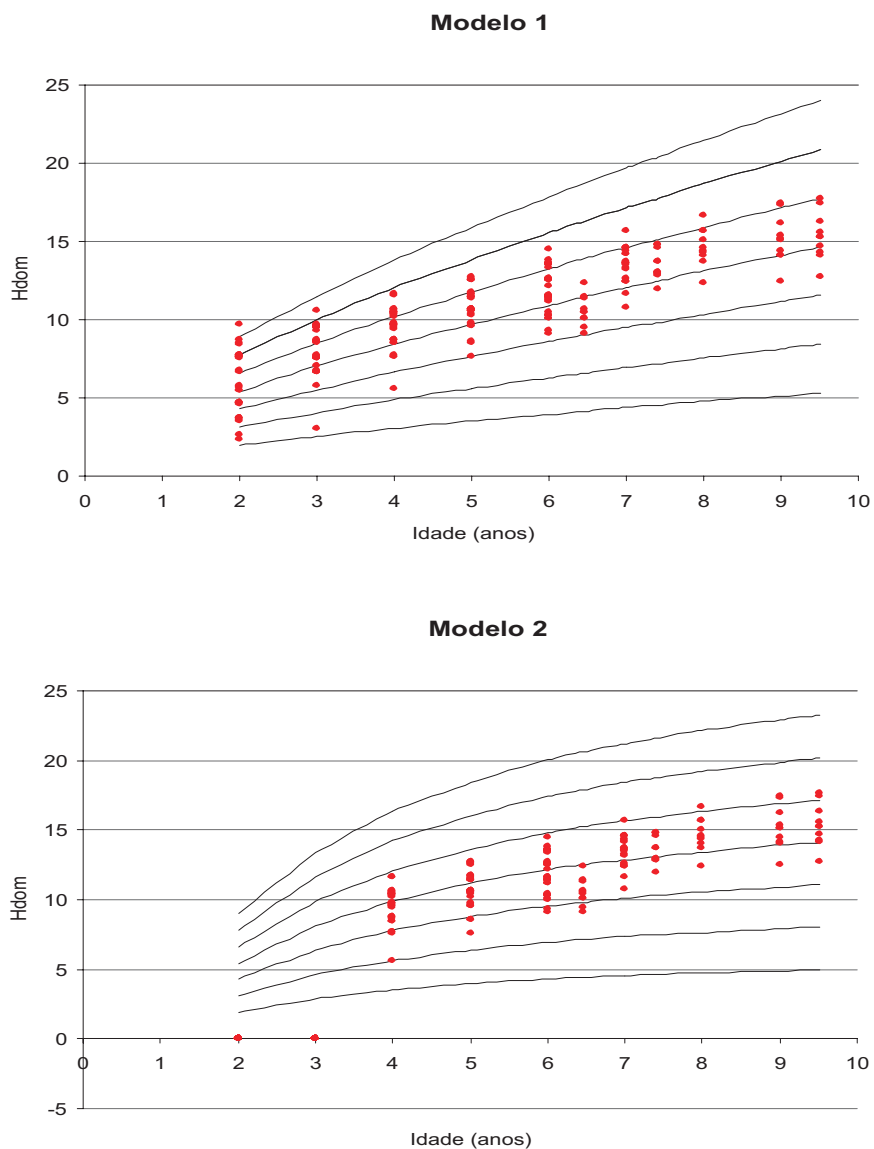


Fig. 8. Curvas anamórficas de índice de sítio geradas pelo método da curva média (modelos de 1 a 6), para os três povoamentos de teca estudados.

Continua...

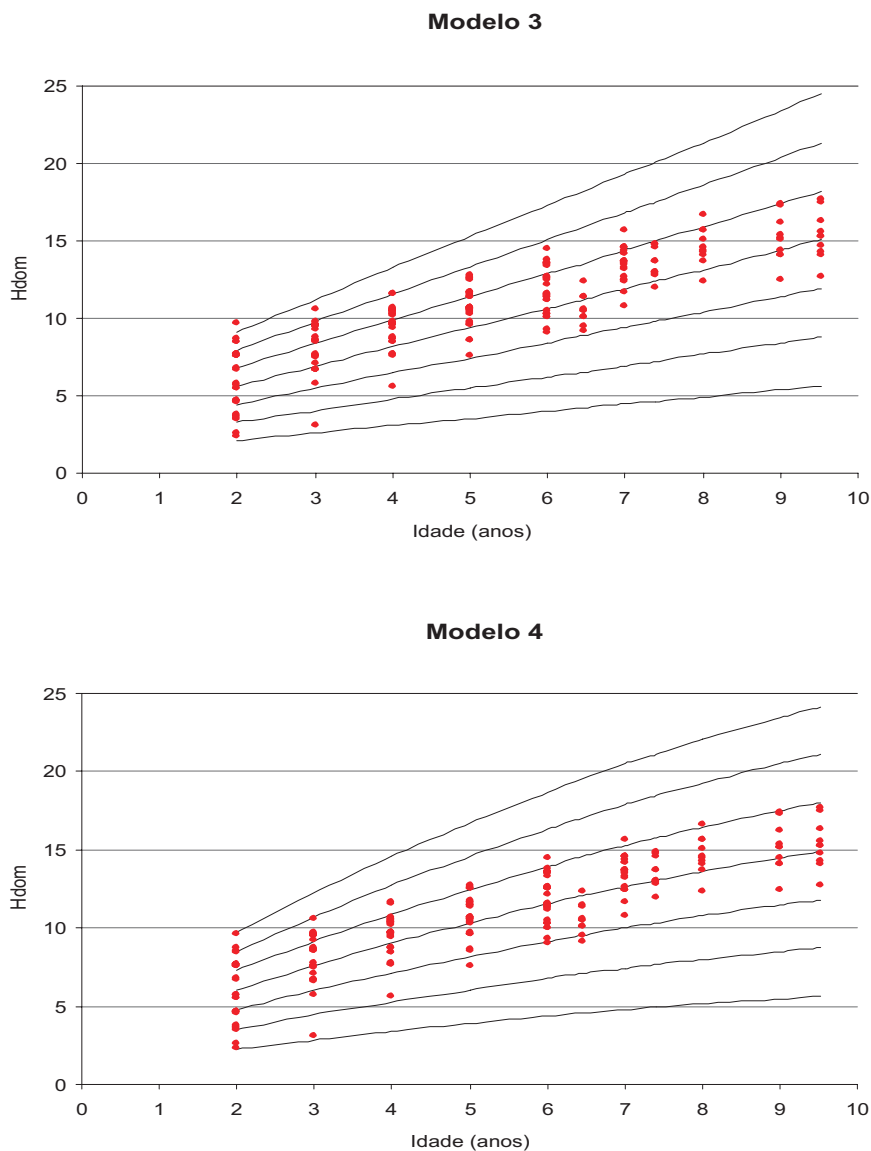


Fig. 8. Curvas anamórficas de índice de sítio geradas pelo método da curva média (modelos de 1 a 6), para os três povoamentos de teca estudados.

Continua...

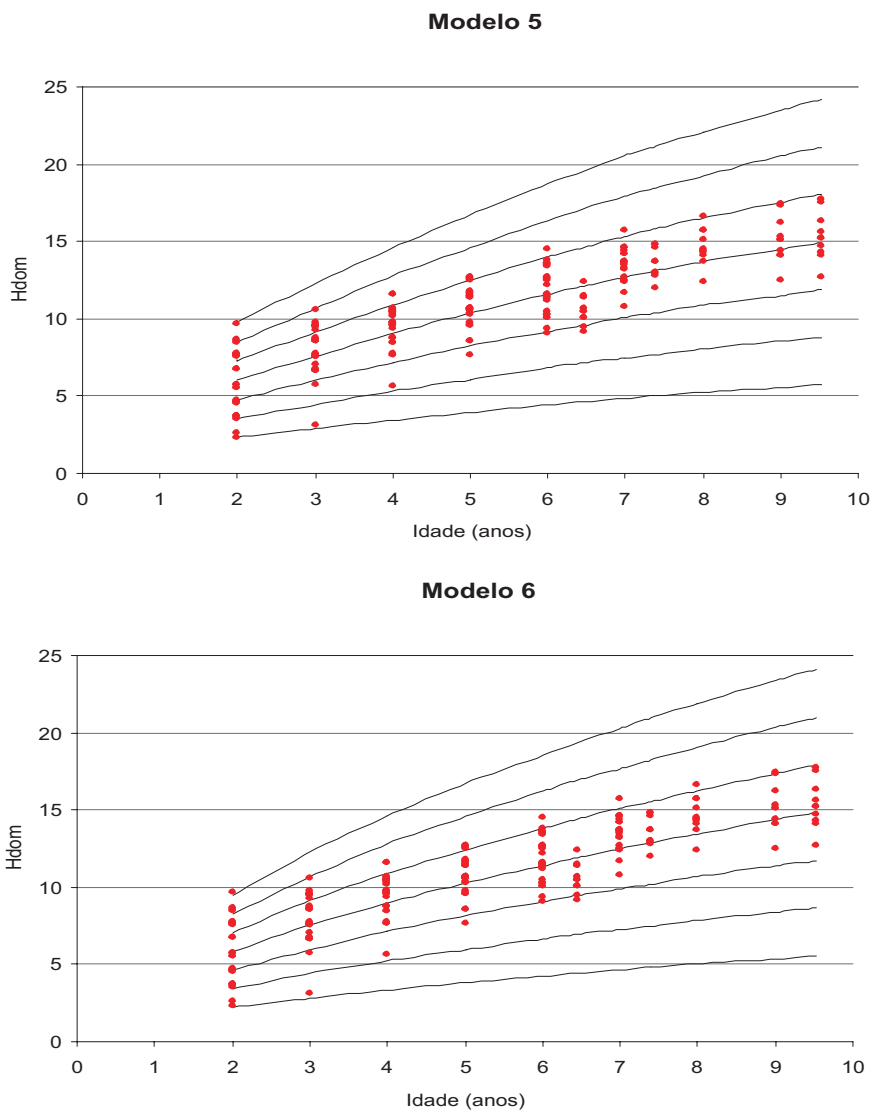


Fig. 8. Curvas anamórficas de índice de sítio geradas pelo método da curva média (modelos de 1 a 6), para os três povoamentos de teca estudados.

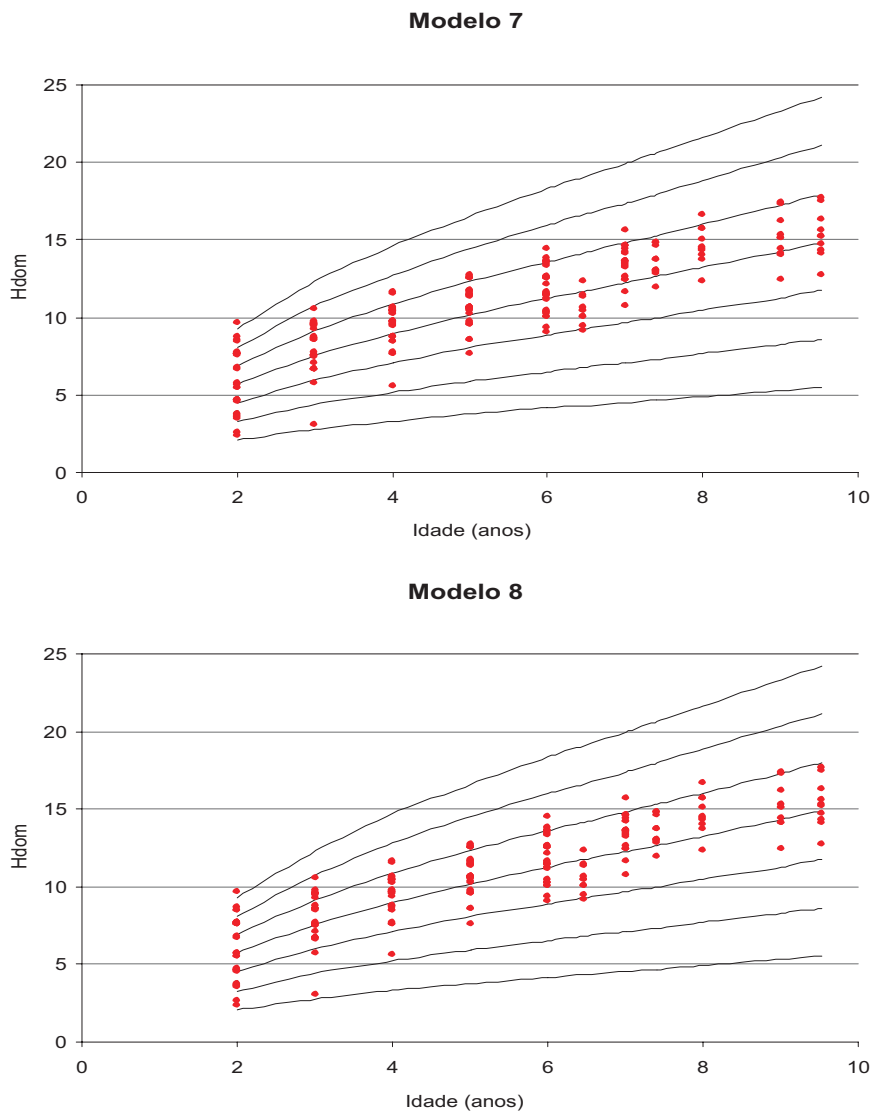


Fig. 9. Curvas anamórficas de índice de sítio geradas pelo método da curva média (modelos de 7 a 12), para os três povoamentos de teca estudados.

Continua...

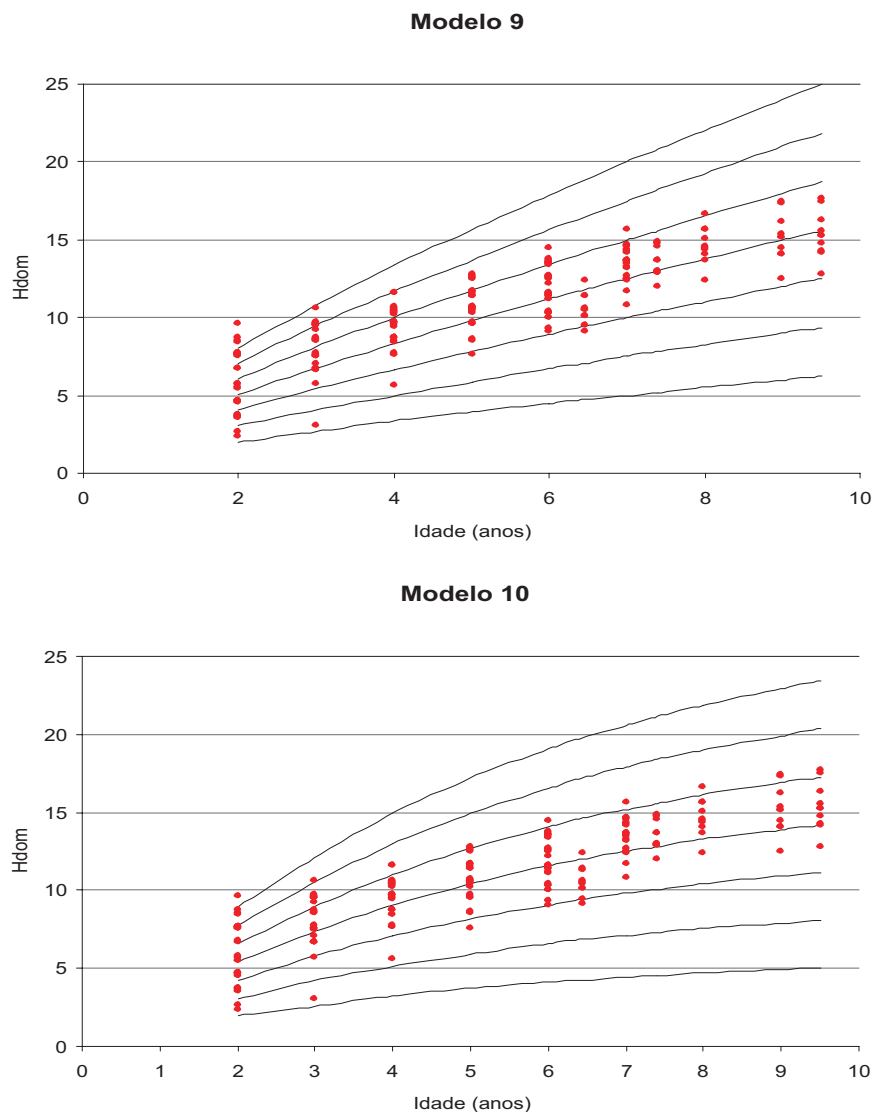


Fig. 9. Curvas anamórficas de índice de sítio geradas pelo método da curva média (modelos de 7 a 12), para os três povoamentos de teca estudados.

Continua...

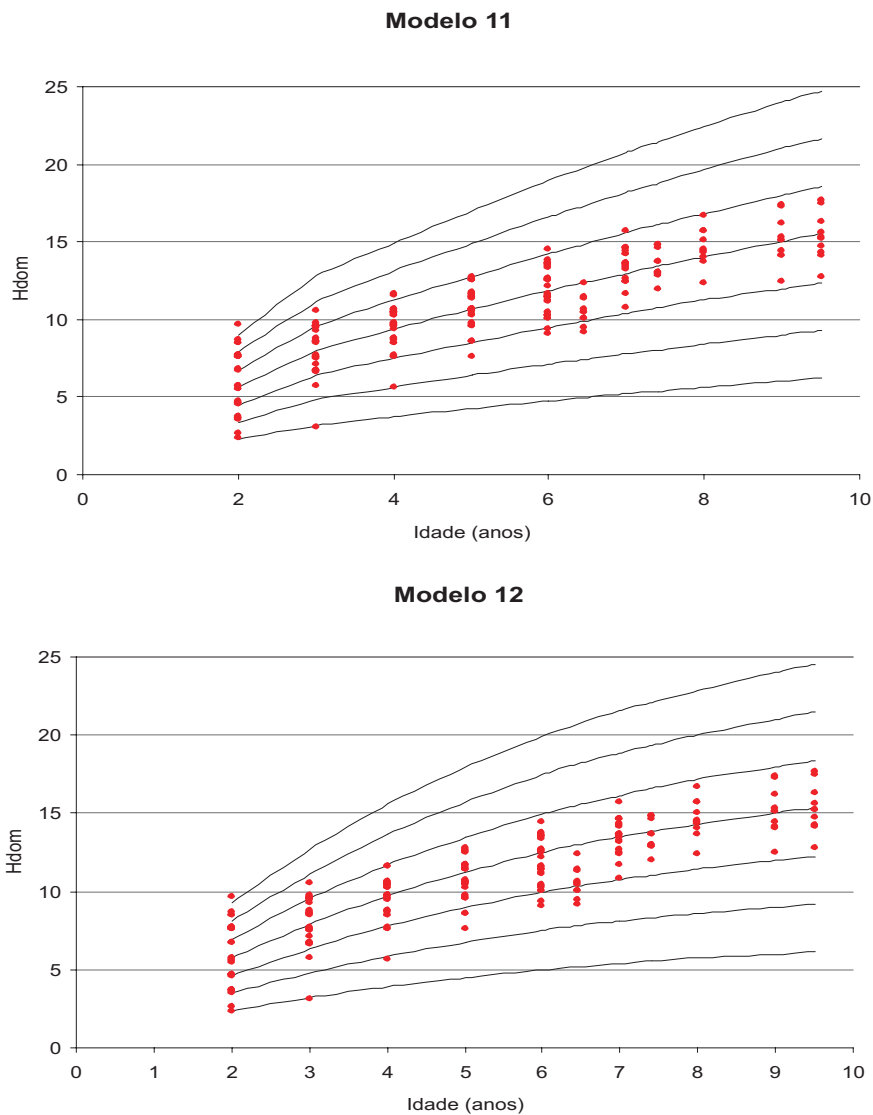


Fig. 9. Curvas anamórficas de índice de sítio geradas pelo método da curva média (modelos de 7 a 12), para os três povoamentos de teca estudados.

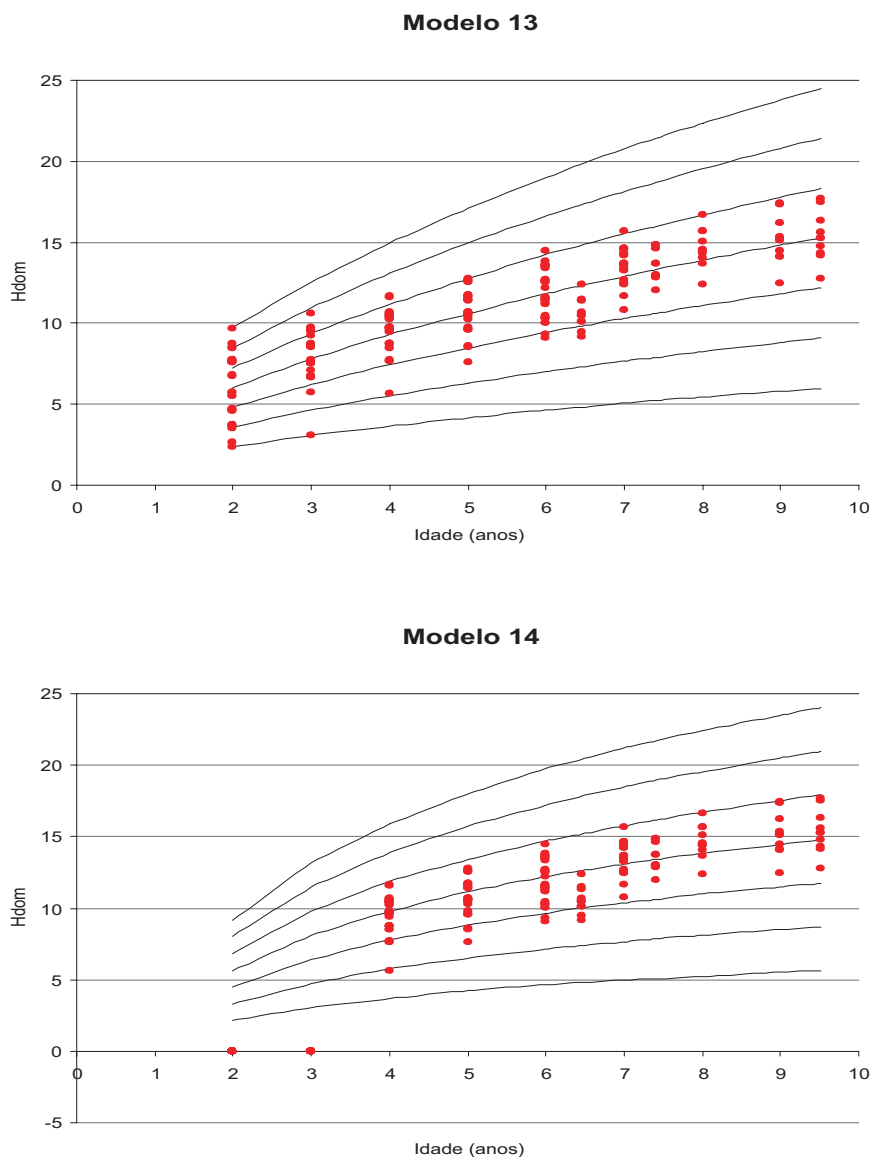


Fig. 10. Curvas anamórficas de índice de sítio geradas pelo método da curva média (modelos de 13 a 15), para os três povoados de teca estudados.

Continua...

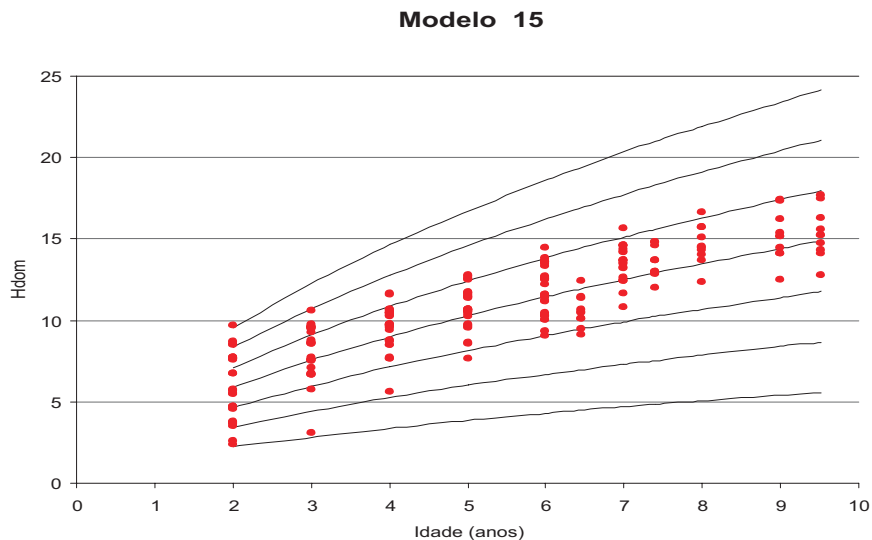


Fig. 10. Curvas anamórficas de índice de sítio geradas pelo método da curva média (modelos de 13 a 15), para os três povoamentos de teca estudados.

Seleção do Modelo e Procedimento de Obtenção das Curvas de Índice de Sítio

A seleção foi definida pelos resultados de avaliação da performance estatística dos modelos testados representados por coeficiente de determinação (R^2), média dos resíduos, erro padrão residual, coeficiente de variação e número de parcelas com estabilidade total a partir do quarto ano, visto que a grande instabilidade do ajuste nos primeiros anos sugere a dificuldade de se empregar o método em povoamentos jovens de teca originários de sementes (Tabelas 3 e 4).

O melhor modelo foi o de Bailey & Clutter (modelo 14), seguido por Schumacher & Hall linearizado (modelo 2). Ambos apresentaram estabilidade total na classificação de sítio de 17 unidades amostrais, ou seja, 56,67% das parcelas foram classificadas num determinado sítio e assim se mantiveram do quarto ao último ano observado. O critério de desempate foi baseado nas demais estatísticas, em que o modelo Bailey & Clutter apresentou melhores resultados que o modelo Schumacher & Hall para estatísticas R^2 , R^2_{ajustado} , média dos resíduos e erro padrão.

Na Fig. 11 constam as curvas anamórficas dos dois modelos com melhor estabilidade.

Com desempenho um pouco inferior que os modelos Bailey & Clutter e Schumacher & Hall linearizados, os modelos 7 e 8 conseguiram manter a estabilidade total para as árvores dominantes de 14 unidades amostrais, sendo, portanto, a terceira melhor alternativa quando se optar pelo método da curva média. E a última alternativa para construção das curvas de sítio são os modelos 6 e 10, com estabilidade total para 12 e 13 parcelas, respectivamente. Os demais modelos não apresentaram estabilidade satisfatória para serem utilizados.

Tabela 3. Equações ajustadas dos modelos testados pelo método da curva guia.

Modelo	Equação ajustada
1	$\ln(H_{dom}) = 1,33179 + 0,635883.(\ln(I_1))$
2	$\ln(H_{dom}) = 2,89287 - 2,41265.(1/I_1)$
3	$\ln(H_{dom}) = (0,367616 + (1,14896.(1/(I_1^{-0,333485}))))$
4	$2,65133 + 1,91208.I_1 - 0,0595307.I_1^2$
5	$3,14897 + 1,58996.I_1 - 0,00329864.(I_1^3)$
6	$-1,96437 + 5,76162.(I_1^{(1/2)}) - 0,0309057.I_1$
7	$-8,40645 - 2,95112.I_1 + 0,096029.(I_1^2) + 14,1048.(I_1^{(1/2)})$
8	$7,35386 + 0,938519.I_1 - 6,41359.(1/I_1)$
9	$\ln(H_{dom}) = 1,14776 + 0,924698.\ln(I_1) - 0,100469.(\ln(I_1)^2)$
10	$\ln(H_{dom}) = 3,08887 - 4,03441.(1/I_1) + 2,64984.((1/I_1)^2)$
11	$\ln(H_{dom}) = 3,46466 - 8,90106.(1/I_1) + 21,0224.((1/I_1)^2) - 20,3658.((1/I_1)^3)$
12	$17,9308.(1-\exp(-0,189861.I_1))$
13	$29,5523.((1-\exp(-0,050295.I_1))^{(1/(1-0,49051))})$
14	$\ln(H_{dom}) = 117,824 + (-116,496.(1/I_1)^{0,00550277}))$
15	$42,0747.(1-\exp(-0,0618062.(I_1^{0,785471})))^{0,838495}$

Onde: H_{dom} = altura dominante; exp = exponencial; I_1 = idade em anos em I_1 e I_2 ; \ln = logaritmo neperiano.

Tabela 4. Resultados estatísticos dos modelos testados pelo método da curva guia.

Modelo	Média dos resíduos	Nº de UA com estabilidade total	R ² (%)	R ² (ajustado) (%)	S _{yx} (± m)	S _{yx} %	Distribuição dos resíduos
1	0,12894	10	70,6	70,53	1,51	14,33	Ruim
2	0,15998	17	69,7	69,61	1,60	15,21	Ruim
3	0,13227	5	69,5	69,23	1,55	14,71	Ruim
4	-0,00002	10	77,6	77,43	1,50	14,08	Ruim
5	-0,00002	10	77,5	77,33	1,50	14,11	Ruim
6	-0,00001	12	77,8	77,59	1,50	14,03	Ruim
7	0,00010	14	77,8	77,58	1,50	14,03	Ruim
8	0,00000	14	77,9	77,71	1,49	13,99	Ruim
9	0,50233	3	71,0	70,76	1,64	16,15	Ruim
10	0,14040	13	70,8	70,53	1,53	14,53	Ruim
11	0,13509	10	71,2	70,84	1,50	14,28	Ruim
12	0,02643	1	77,0	76,89	1,52	14,28	Ruim
13	0,00026	11	77,7	77,55	1,50	14,04	Ruim
14	0,13310	17	70,6	70,40	1,51	14,37	Ruim
15	0,00028	11	77,7	77,46	1,50	14,07	Ruim

Onde: R² = coeficiente de determinação; R²_{ajustado} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão residual; S_{yx} % = erro padrão residual percentual; UA = unidade amostral.

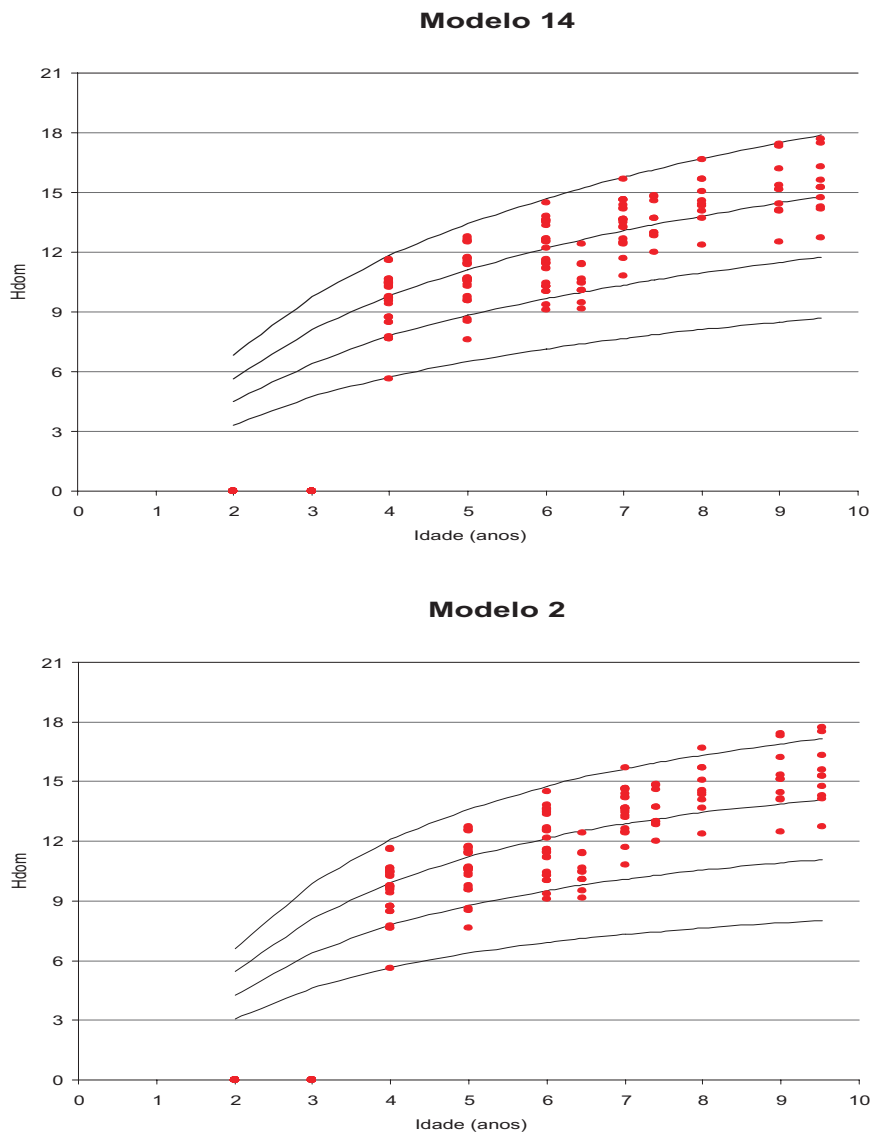


Fig. 11. Curvas anamórficas de índice de sítio geradas pelos dois modelos com melhor estabilidade de classificação: Bailey & Clutter anamórfica (modelo 14) e Schumacher & Hall linearizada anamórfica (modelo 2).

Na Tabela 5 são apresentados os limites inferior e superior na idade de referência provisória (9 anos), para cada classe de sítio obtida pelo modelo Bailey & Clutter anamórfica (modelo 14), ajustado pelo método da curva média ou curva guia. Vale ressaltar que todas as curvas de sítio geradas são consideradas provisórias, pois a idade de referência foi de 9 anos (povoamento mais velho). A distância entre a idade de referência e a possível rotação dos povoamentos (aproximadamente 25 anos) faz com que haja necessidade de futuras atualizações das estimativas.

Tabela 5. Classes de sítio adotadas para *Tectona grandis* L.f., considerando o modelo de Bailey & Clutter anamórfica, método da curva média.

<i>Classes de sítio</i>	<i>Intervalo das alturas dominantes na idade de referência considerada (m)</i>	<i>Índices de sítio</i>
I	8,5 – 11,5	10,0
II	11,5 – 14,5	13,0
III	14,5 – 17,5	16,0

O método da curva média ou curva guia demonstrou ser, para a base de dados estudada, um procedimento com menor precisão estatística quando se adotam mensurações de povoamentos jovens de teca, além de gerar classificações de sítio altamente instáveis. O fraco desempenho da curva média nas menores idades, em que a amplitude das alturas dominantes é elevada, está relacionado com a geração de curvas anamórficas. O conceito de uma mesma taxa de crescimento em altura para sítios distintos que compõem uma mesma família já demonstrou não representar acuradamente o crescimento de povoamentos florestais, conforme relatado por Scolforo (1997) e demonstrado nos resultados deste trabalho. No entanto, este procedimento ainda é bastante empregado para a classificação de sítios regionais (Keogh, 1982) e, devido à facilidade de aplicação, também é bastante utilizado em plantios comerciais de teca (Keogh, 1990; Malende & Temu, 1990).

Para Scolforo (1997) e Figueiredo (2005) o método da curva média é bastante acurado apenas quando as faixas de índice de sítio são representadas em todas as idades. Isto somente ocorreu a partir do quarto ano para os modelos testados, pois, quando se acrescentaram medidas de alturas dominantes dos povoamentos mais jovens, as seis faixas (Fig. 8, 9 e 10) não foram representadas em todas as idades, o que provocou forte instabilidade do procedimento de classificação.

Conclusões

1. Os modelos testados pelo método da curva média demonstraram bons resultados estatísticos, porém a distribuição dos resíduos apresentou grande amplitude em povoamentos mais jovens.
2. Os resultados obtidos com os ajustes realizados pela curva média demonstraram fortes superestimativas e grande instabilidade de classificação de sítios para as unidades amostrais avaliadas, quando se adotaram povoamentos mais jovens.
3. A classificação se mantém mais estável quando se desconsideram as oscilações nas idades inferiores a 4 anos.
4. O modelo de Bailey & Clutter (modelo 14) apresentou os melhores resultados entre todos os 15 modelos testados.
5. O modelo Schumacher & Hall linearizado (modelo 2) conseguiu manter a estabilidade total para a mesma quantidade de árvores dominantes que o modelo de Bailey & Clutter, porém com estatísticas de precisão inferiores, sendo, portanto, a segunda melhor alternativa.

Referências

ACRE. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. **Zoneamento ecológico-econômico: recursos naturais e meio ambiente – documento final**. Rio Branco: SECTMA, 2000, v. 1, 116 p.

ASSMANN, B. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergaman Press, 1970. 506 p.

CLUTTER, J. L. **Timber management: a quantitative approach**. New York: J. Wiley & Sons, 1983. 333 p.

FIGUEIREDO, E. O. **Avaliação do crescimento da teca (*Tectona grandis* L.f.) pela análise de tronco**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001 b. 4 p. (Embrapa Acre. Instruções Técnicas, 35).

FIGUEIREDO, E. O. **Avaliação de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L.f.) na microrregião do Baixo Rio Acre**. 2005. 301 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 509 p.

IMAC. Núcleo de Cartografia. **Atlas geográfico ambiental do Acre**. Rio Branco, 1991. 48 p.

KEOGH, R. M. Teak (*Tectona grandis* Linn. F.) provisional site classification chart for the Caribbean, Central America, Venezuela and Colombia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 4, p. 143-153, 1982.

KEOGH, R. M. Growth rates of teak (*Tectona grandis*) in the Caribbean/Central-American region. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 35, p. 311-314, 1990.

MALENDE, Y. H.; TEMU, A. B. Site-Index Curves and Volume Growth of Teak (*Tectona grandis*) at Mtibwa - Tanzania. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 31, p. 91-99, 1990.

NAIR, C. T. S.; SOUVANNAVONG, O. Nuevos temas de investigación en la ordenación de la teca. **Unasyuva**, Roma, v. 51, n. 201, p. 45-54, 2000.

NANANG, D. M.; NUNIFU, T. K. Selecting a functional form for anamorphic site index curve estimation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 118, p. 211-221, 1999.

NUNIFU, T. K.; MURCHISON, H. G. Provisional yield models of Teak (*Tectona grandis* Linn f.) plantations in northern Ghana. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 120, p. 171-178, 1999.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: métodos para classificação de sítios florestais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 151 p. (Textos Acadêmicos).



Acre

**Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

